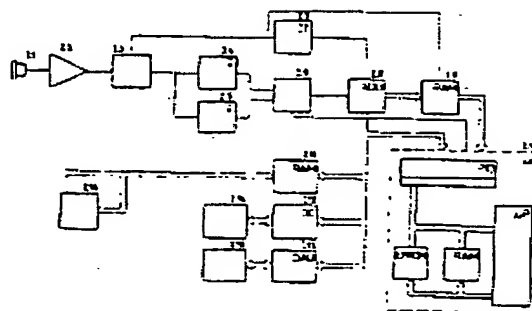


**Method and arrangement for determining the state of machine elements****Publication number:** DE3314005**Publication date:** 1984-02-09**Inventor:** STURM ADOLF PROF DR SC TECHN (DD); BODE  
MANFRED DIPL PHYS (DD); KINSKY DIETER DIPL  
ING (DD); ZIPPE WINFRIED DR ING (DD)**Applicant:** ROBOTRON VEB K (DD)**Classification:****- international:** G01H1/00; G01M13/02; G01H1/00; G01M13/02; (IPC1-  
7): G01M13/02; G01N3/32**- european:** G01H1/00B; G01M13/02M**Application number:** DE19833314005 19830418**Priority number(s):** DD19820242303 19820806; DD19830247779 19830208

Report a data error here

**Abstract of DE3314005**

The invention relates to a method and arrangement for determining the state of machine elements, which method and arrangement enable the operating state of kinematic combinations, in particular rotor/bearing systems, piston/cylinder subassemblies and gear combinations, to be determined in a novel manner. According to the invention, the component oscillations, converted into electrical oscillations, are objectively evaluated and enable production and assembly defects to be established and an immediate damage diagnosis to be made during continuous operation with the utilisation of technical expenditure.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

22 Offenlegungsschrift  
11 DE 33 14 005 A 1

51 Int. Cl. 3:  
G 01 M 13/02  
G 01 N 3/32

21 Aktenzeichen: P 33 14 005.7  
22 Anmeldetag: 18. 4. 83  
43 Offenlegungstag: 9. 2. 84

30 Unionspriorität: 32 33 31

06.08.82 DD WPG07C/242303-1  
08.02.83 DD WPG07C/247779-2

71 Anmelder:

VEB Kombinat Robotron, DDR 8010 Dresden, DD

72 Erfinder:

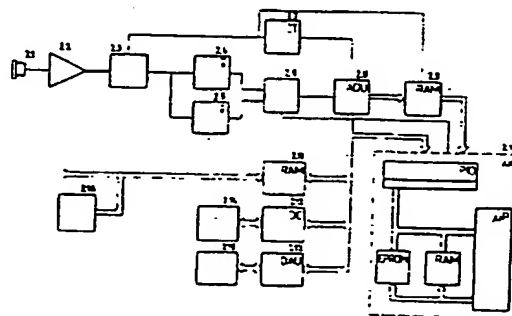
Sturm, Adolf, Prof. Dr.sc.techn., DDR 8800 Zittau,  
DD; Bode, Manfred, Dipl.-Phys., DDR 8809  
Olbersdorf, DD; Kinsky, Dieter, Dipl.-Ing., DDR 8802  
Großschönau, DD; Zippe, Winfried, Dr.-Ing., DDR  
8046 Dresden, DD

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Anordnung zur Zustandsbestimmung von Maschinenelementen

Die Erfindung betrifft das Verfahren und eine Anordnung zur Zustandsbestimmung von Maschinenelementen, die es ermöglichen, auf neuartige Weise durch den Betriebszustand von kinematischen Paarungen, insbesondere von Rotor-Lager-Systemen, Kolben-Zylinder-Baugruppen und Zahnradpaarungen, zu ermitteln. Erfindungsgemäß werden die in elektrische Schwingungen umgewandelten Bauteilschwingungen objektiv bewertet und ermöglichen bei laufendem Betrieb unter Einsatz technischer Aufwendungen die Feststellung von Fertigungs- und Montagemängeln sowie eine sofortige Schadensdiagnose.

(33 14 005)



10 04 83

3314005

Patentansprüche

1. Verfahren zur Zustandsbestimmung von Maschinenelementen, bei dem Effektiv- und Spitzenwert einer Schwingung erfaßt und zur Schadensdiagnose herangezogen werden, dadurch gekennzeichnet, daß zur Diagnose der Effektivwert und der Spitzenwert untereinander durch Multiplikation verknüpft und im Diagnosezeitraum die zeitliche Veränderung des Produktes erfaßt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitliche Veränderung durch Bezug auf den Ausgangszustand ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Bezug auf den Ausgangszustand durch Division gebildet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewertung des Ergebnisses des Quotienten aus Ausgangs- und Istzustand in diskrete zustandsbezogene Bereiche vorgenommen wird.
5. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 bis 4 zur Zustandsbestimmung von Maschinenelementen, wobei ein an zugänglichen Teilen von Maschinenelementen angeordneter Schwingungsaufnehmer mit dem Eingang eines Vorverstärkers verbunden ist, dessen Ausgangssignal sowohl einem Effektivwertmesser als auch einem Spitzenwertmesser zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgang des Effektivwertmessers (3) und der Ausgang des Spitzenwertmessers (4) mit dem Eingang eines Multiplizierers (5) verbunden sind, daß der Ausgang des Multiplizierers (5) zu einem Eingang eines Dividierers (6) führt, wobei ein Speicher (8) mit einem weiteren Eingang des Dividierers (6) verbunden ist und daß der Ausgang des Dividierers (6) mit einer Anzeige verbunden ist.

- 5 6. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß im Ausgangszustand der Maschinenelemente der Ausgang des Multiplizierers (5) mit dem Speicher (8) für die Dauer des ersten Meßvorganges verbunden ist.
- 10 7. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Quotient  $y_1/y_2$  oder sein Kehrwert im Dividierer (6) in einer Bewertungslogik (7) Schwellwertschaltern zuzuführen ist, deren Ausgänge die Maschinenzustände signalisieren.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

## Verfahren und Anordnung zur Zustandsbestimmung von Maschinenelementen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Zustandsdiagnose kinematischer Paarungen. Das  
5 Verfahren und die Anordnung sind in der gesamten Maschinenbautechnik, insbesondere an Rotor-Lager-Systemen, Kolben-Zylinder-Baugruppen und an Zahnradpaarungen, einsetzbar.

Die Zuverlässigkeit kinematischer Paarungen in Maschinen  
10 und Anlagen bestimmt maßgeblich die Verfügbarkeit der gesamten Produktionsanlage. Kinematische Paarungen sind hochbelastete Maschinenelemente und unterliegen der Abnutzung. Deshalb ist ihre Lebensdauer begrenzt. Die aus den Werkstoffparametern, der Fertigungsqualität, der  
15 Montagegüte, den Umgebungsbedingungen, aber vor allem die aus der Betriebsweise resultierende Beanspruchung führt zur Schädigung.

Für den Betrieb und die Instandhaltung solcher Baugruppen ergeben sich bei Beachtung der erhöhten Zuverlässigkeitsanforderungen und der begrenzten Material- und  
20 Instandhaltungskapazitäten grundsätzliche Schlußfolgerungen:

1. Die Forderung nach hoher Sicherheit und Verfügbarkeit einerseits, die Notwendigkeit der vollen Ausschöpfung von Abnutzungsreserven andererseits erzwingen die zustandsbezogene Instandhaltung kinematischer Baugruppen.  
25
2. Die Beurteilung des Schädigungszustandes muß mit Methoden der Technischen Diagnostik erfolgen, die demontagelos und während des laufenden Betriebes realisiert werden.  
30

Die Bestimmung der Funktionsdauer kinematischer Paarungen über die Lebensdauerrechnung und eine Diskussion über wirkende Einflüsse zeigt, daß eine Mindestlebensdauer nicht existiert (Gnilke, W.: Lebensdauerberech-  
35

nung der Maschinenelemente, VEB Verlag Technik, Berlin, 1980).

Die gegenwärtige Situation im Angebot an Gerätetechnik für die Technische Diagnostik zur Zustandsbestimmung ist unbefriedigend. Die angebotenen Lösungen sind nicht allgemein anwendbar. Eine Literatur- und Patentanalyse deckt grundsätzliche Mängel auf:

1. Zur Bewertung des Schädigungszustandes ist die Kenntnis wirkender Beanspruchungen notwendig (Krause, H.; Senuma, T.: Die Beanspruchung in Wälzkörpern und ihre Auswirkung auf den Werkstoffzustand, Fortschrittsberichte der VDI-Zeitschriften, Reihe 5, Nr. 35, 1978).
  2. Unterschiedliche Schäden bedingen unterschiedliche Signalauswerteverfahren (Barschdorff, D.: Technische Diagnostik an Maschinen mit rotierenden Teilen, Wissenschaftliche Berichte der Ingenieurhochschule Zittau, IHZ-WK-335-79).
  3. Die angewendete Gerätetechnik stellt keine objektive Lösung dar, da in den meisten Fällen als Bewertungsglied in der Diagnose der Mensch wirksam werden muß (Carmody, T.: The measurement of vibration as a diagnostic tool, Trans. I. Mar. E., Vol. 84, 1972, S. 147 - 159).
  4. Die Anzahl der notwendigen Ausgangsinformationen ist relativ hoch (SU-Patent G 01 M 13/04, Nr. 823943).
  5. Es gibt weltweite Bestrebungen, für die Technische Diagnostik an kinematischen Paarungen ein einfach handhabbares, tragbares, mit Speichermöglichkeit ausgestattetes, objektiv bewertendes Gerät zu entwickeln. Eine technisch akzeptable Lösung wird seit längerer Zeit (ca. 20 Jahre) nicht angeboten, da die zugrundeliegenden Verfahren derartige Möglichkeiten nicht zulassen.
- Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Anordnung zu seiner Realisierung aufzuzeigen, die mit mög-

lichst geringem technischem Aufwand sowohl eine eindeutige als auch eine objektive Aussage über den aktuellen Schädigungszustand kinematischer Paarungen zulassen.

5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Meßgrößen so zu verarbeiten, daß im Ergebnis eine Größe entsteht, die einen eindeutigen und objektiven Schluß auf den Schädigungszustand kinematischer Paarungen zuläßt.

10 Erfindungsgemäß wird zur Bewertung des Schädigungszustandes einer kinematischen Paarung eine Kenngröße gebildet, die aus den nachfolgend beschriebenen Signalkenngrößen eines Ausgangs- und des Istzustandes der zu bewertenden Paarung berechnet wird. Nach Montage der Paarung wird am entsprechenden Anlagenteil eine Messung des Ausgangszustandes vorgenommen. Als Ausgangszustand 15 ist im allgemeinen der Zustand der kinematischen Paarung nach abgeschlossener Einlaufphase zu verstehen. Der Zeitpunkt dieser Messung entspricht dem Zeitpunkt Null. Dies geschieht mittels einer Schwingungsmessung der emittierten Körperschallsignale. Die Messung kann im gesamten Frequenzspektrum oder in Teilbereichen erfolgen. Die Bewertung dieser Schwingungen hinsichtlich Effektiv- und Spitzenwert ergibt nach Multiplikation dieser beiden Signalkenngrößen die gewünschte Kennfunktion zur Beschreibung des Ausgangszustandes. 20

25 Ein weiteres Merkmal der Erfindung besteht darin, daß die zeitliche Veränderung durch Bezug auf den Ausgangszustand dargestellt wird. Dabei werden die Signalkenngrößen zum Zeitpunkt Null und zum Zeitpunkt  $t$ , also zu unterschiedlichen Zeitpunkten, ermittelt und dann aufeinander bezogen, woraus sich die interessierende Signalkenngröße ableiten läßt. 30

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, daß ein mathematischer Bezug der ermittelten Signalkenn-

größen zum Zeitpunkt Null und zum Zeitpunkt t durch Division beider Größen hergestellt wird. Die mathematische Formulierung des auf diesem Weg gefundenen Diagnosekennwertes  $K(t)$ , der den Zustand kinematischer Paarungen zum interessierenden Zeitpunkt wiedergibt, lautet

$$K(t) = \frac{\tilde{x}(0) \cdot \hat{x}(0)}{\tilde{x}(t) \cdot \hat{x}(t)}$$

Dabei stellt wieder  $\tilde{x}$  den Effektivwert und  $\hat{x}$  den Scheitelwert des bewertenden Körperschallsignales dar.

Ein weiteres Merkmal der Erfindung besteht darin, daß die Bewertung des Zustandes der zu beurteilenden kinematischen Paarung durch Vergleich des Diagnosekennwertes  $K(t)$  mit entsprechenden vorgegebenen, maschinentypischen Werten erfolgt.

Entsprechend der Beziehung für den Diagnosekennwert  $K(t)$  ergibt sich für den Ausgangszustand (Nenner und Zähler sind gleichgroß) der Wert 1. Veränderungen des Ausgangszustandes führen zu einem Diagnosekennwert  $K(t) \neq 1$ .

Dividiert man den Ausgangszustand durch den Istzustand, erhält man den möglichen Wertebereich für die Charakteristik des Schädigungszustandes einer kinematischen Paarung zu  $0 < K(t) \leq 1$ . Damit ergibt sich erfindungsgemäß die Möglichkeit, den ermittelten Diagnosekennwert  $K(t)$  mit entsprechenden fest vorgegebenen und maschinen-typabhängigen Grenzwerten zu vergleichen. Diese Grenzwerte könnten beispielsweise den Aussagen "gut", "noch brauchbar", "Reparatur nötig" usw. zugeordnet sein.

Das beschriebene Verfahren kann durch die unterschiedlichsten Anordnungen, z.B. analoge oder digitale Rechenschaltungen, realisiert werden.

Erfindungsgemäß erfolgt eine praktische Realisierung des beschriebenen Verfahrens dadurch, daß ein Körperschallaufnehmer an einer geeigneten Stelle des Meßobjektes die vorhandenen Schwingungen aufnimmt und in entsprechende elektrische Signale umwandelt. Diese gelangen



10.04.83

3314005

5

7.

an einen Effektivwert- und an einen Spitzenwertmesser.  
Die beiden Ausgangssignale werden in einem Multiplizierer  
miteinander multipliziert und sodann einem Dividierer zu-  
geführt. Einem zweiten Eingang des Dividierers wird das  
5 vorstehend genannte Produkt, das zum Zeitpunkt Null er-  
mittelt wurde, eingegeben. Aus beiden Größen wird der  
Quotient gebildet.

Der Ausgang des Dividierers führt entweder zu einer An-  
zeige oder/und zu einer Bewertungslogik, in die vorge-  
gebene Festwerte eingespeichert wurden. Die Bewertungs-  
10 logik kann eine klassifizierte, vorgegebene verbale Ein-  
schätzung des aktuellen Maschinenzustandes angeben.

Ein weiteres Merkmal der erfindungsgemäßen Anordnung be-  
steht darin, daß nur für die Registrierung des Ausgangs-  
zustandes der Maschinenelemente der Ausgang des Multipli-  
15 zierers mit einem Speicher verbunden wird, in dem der ge-  
nannte Wert eingespeichert wird.

Ein letztes Merkmal der Erfindung besteht darin, daß im  
Dividierer aus den Signalen  $y_1$  und  $y_2$  oder ihren Kehr-  
20 werten ein Quotient gebildet wird, der in einer Bewer-  
tungslogik mit vorgegebenen, festen, maschinentypischen  
Werten verglichen wird. Als Ergebnis des Vergleiches wer-  
den Schwellwertschalter betätigt, wodurch die aktuellen  
Maschinenzustände klassifiziert und angezeigt werden.  
25 Die Größe  $y_1$  stellt dabei das gespeicherte Signal und die  
Größe  $y_2$  das aktuelle Signal zum Zeitpunkt  $t$  des Multipli-  
zierers dar.

Die Erfindung soll nachstehend an zwei Ausführungsbei-  
spielen erläutert werden.

30 In der zugehörigen Zeichnung zeigt:

Figur 1: Die prinzipielle Wirkungsweise der erfindungs-  
gemäßen Lösung zur Zustandsbestimmung von Ma-  
schinenelementen und

Figur 2: Ein für die Praxis geeignetes Ausführungsbeispiel zur Zustandsbestimmung von Maschinenelementen.

5 In Figur 1 werden die von einem Körperschallaufnehmer 1, der an geeigneter Stelle am Meßobjekt angekoppelt ist, aufgenommenen mechanischen Schwingungen in elektrische Signale umgeformt und über einen Impedanzwandler und Verstärker 2 an die Eingänge eines Effektivwertmessers 3 und eines Spitzenwertmessers 4 geführt. Dabei dient der  
10 Impedanzwandler und Verstärker 2 sowohl zur Verstärkung als auch zur Anpassung der den Bauteilschwingungen proportionalen elektrischen Signale an die nachfolgende Meßanordnung. Die Ausgänge von Effektivwertmesser 3 und von Spitzenwertmesser 4 sind mit den Eingängen eines Multiplizierers 5 verbunden, in dem beide Ausgangsgrößen miteinander multipliziert werden. Der Ausgang des Multiplizierers 5 führt zu einem Eingang eines Dividierers 6, dessen zweiter Eingang mit dem Ausgang eines Speichers 8 verbunden ist. Der Dividierer 6 verarbeitet das am Ausgang des Speichers 8 bereitgestellte Produkt eines Ausgangswertes mit dem Ergebnis des Multiplizierers 5. Der  
20 Ausgang des Dividierers 6 ist mit einer Bewertungslogik 7 verbunden. In der Bewertungslogik 7 wird die berechnete Größe mit vorgegebenen Werten verglichen und zwar derart, daß Bereiche festgelegt werden, die bestimmten Schädigungszuständen einer kinematischen Paarung entsprechen.

In Figur 2 findet man - analog zu Figur 1 - die Baugruppen Körperschallaufnehmer 1 sowie Impedanzwandler und Verstärker 2, dessen Ausgang zu einem steuerbaren Spannungsteiler 9 führt. Über eine Regelschleife wird die Ausgangsspannung dieses Spannungsteilers normiert. An den  
30 Ausgängen des Effektivwertmessers 3 bzw. des Spitzenwertmessers 4 liegen die der Eingangswechselspannung proportionalen Effektiv- bzw. Spitzenwerte an. Mit dem elektronischen Umschalter 10 können diese Werte wahlweise an den Analog-Digital-Umsetzer 12 angeschaltet werden. Der

jeweilige, in eine BCD-Information umgewandelte Wert wird in einem Zwischenspeicher 13 abgespeichert. Bei Überlauf des Analog-Digital-Umsetzers 12 wird der steuerbare Spannungsteiler 9 über den Zähler 11 eine Stelle weitergeschaltet. Damit ist gewährleistet, daß die Ausgangsinformation des Analog-Digital-Umsetzers 12 immer die größtmögliche Genauigkeit aufweist. Gemeinsam mit der Position des Zählers 11 kann der Ausgangswert des Analog-Digital-Umsetzers 12 über den Dekoder 16 und die numerische Anzeige 18 ausgegeben werden. Bei der Ermittlung des Ausgangswertes besteht die Möglichkeit, die Ausgangsgröße des Analog-Digital-Umsetzers 12 im Zwischenspeicher 13 abzuspeichern und später auf einen externen Speicher zu übertragen.

Die in den Zwischenspeichern 13 und 14 enthaltenen Größen für den Ist- bzw. Ausgangszustand werden in dem für diesen Zweck modifizierten Mikrorechner 15 so verarbeitet, daß im Ergebnis der obengenannten Diagnosekennwert  $K(t)$  erscheint. Dieser Diagnosekennwert kann im Zwischenspeicher 14 abgelegt werden. Die numerische Ausgabe erfolgt über den Dekoder 16 und die numerische Anzeige 18. Eine automatische Bewertung der Ausgangsgröße des Mikrorechners 15 wird nach einer Umsetzung im Digital-Analog-Umsetzer 17 mit dem Mehrfachkomparator 19 vorgenommen.

Über die Eingabetastatur 20 lassen sich beispielsweise maschinentypische Daten eingeben. Mit geeigneten Anzeigorganen erfolgt die Darstellung der entsprechenden Schädigungsbereiche.

Durch die Art der Eingabe des Ausgangswertes wird das Betriebsregime der Meßanordnung festgelegt. Prinzipiell sind drei Betriebsarten möglich.

#### 1. Betriebsart:

Messung des Ausgangszustandes nach Neueinbau der Paarung, automatische Korrektur des Diagnosekennwertes während der Einlaufphase.

2. Betriebsart:

Eingabe des Effektivwertes über die Tastatur, automatische Berechnung des Spitzenwertes.

3. Betriebsart:

- 5 Eingabe eines maximal zulässigen Effektivwertes in den Festwertspeicher des Mikrorechners 15 und ebenfalls automatische Berechnung des Spitzenwertes.

10 Mit den Betriebsarten 2 und 3 ist mit der Anordnung die Feststellung unzulässiger Zustände durch Fehler in der Fertigung, Montage bzw. Betriebsweise möglich. Durch die Erfindung wird folgende technische Fortschrittlichkeit erreicht:

- 15 1. Die Auswertung des Effektiv- und Spitzenwertes mit Hilfe des Diagnosekennwertes  $K(t)$  ermöglicht eine objektive Aussage über den Schädigungszustand einer kinematischen Paarung.
2. Die beschriebene Anordnung ermöglicht mit relativ geringem meßtechnischen Aufwand eine exakte Schadensdiagnose.
- 20 3. Die Anordnung ist universell an kinematischen Paarungen im gesamten Maschinenbau einsetzbar.
- 25 4. Die Anordnung kann in ihrer gerätetechnischen Realisierung unterschiedlichen Ansprüchen (Handhabbarkeit, Automatisierungsgrad, Qualifikation des Anwenderpersonals) gerecht werden.

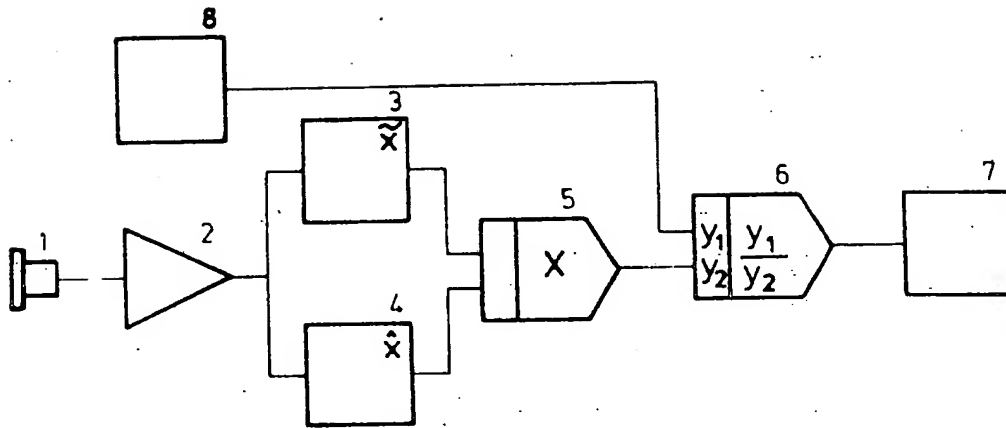
11-  
Leerseite

100000

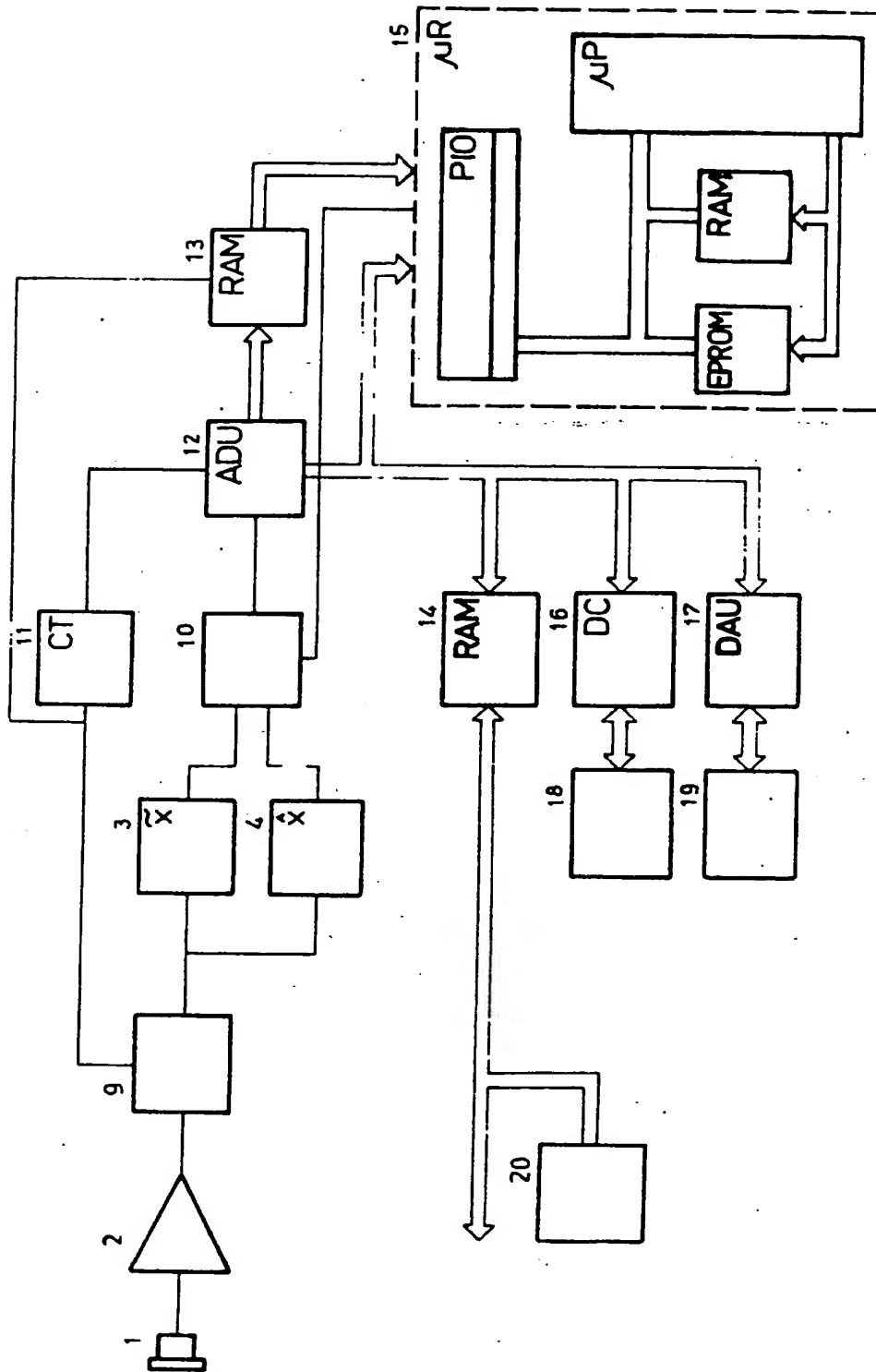
- 13 -

Nummer:  
Int. Cl.<sup>3</sup>:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

33 14 005  
G 01 M 13/02  
18. April 1983  
9. Februar 1984



Figur 1



Figur 2